

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

ANA-MARIJA PANDUR

IZRADA 3D MODELA POMOĆU VISUALSFM

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2019.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

ANA-MARIJA PANDUR

IZRADA 3D MODELA POMOĆU VISUALSFM
MAKING A 3D MODEL USING VISUALSFM

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dipl.ing.geod. Lovro Gradišer, pred.

ČAKOVEC, 2019.

ZAHVALA

Zahvaljujem svom mentoru Lovri Gradišeru na iskazanom strpljenju, pomoći, odvojenom vremenu i razumijevanju prilikom nastanka završnog rada.

Također zahvaljujem predavačima Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, gospođi iz knjižnice i čitaonice Prelog, prijateljima na podršci, bodrenju, strpljenu i „potrošenim živcima“, a naviše obitelji koja mi je bila podrška do samog kraja studija.

Sadržaj

SAŽETAK

1. UVOD.....	8
2. FOTOGRAMetriJA	9
2.1. Fotografija	9
2.1.1. Analogna i digitalna fotografija.....	9
2.2. Povijesni razvoj fotogrametrije	11
2.3. Podjela fotogrametrije	13
2.3.1. Podjela s obzirom na položaj kamere u prostoru.....	13
2.3.2. Podjela u odnosu na položaj snimke u prostoru	15
2.3.3. Podjela u odnosu na vrstu snimki	15
2.3.4. Podjela u odnosu na kameru koja se koristi	15
2.4. Stereofotogrametrija	16
2.4.1. Stereopar	16
2.4.2. Stereokamera	17
2.4.3. Stereoskop	18
2.4.4. Anaglifni postupak	18
3. INSTRUMENTARIJ U FOTOGRAMetriJI.....	20
3.1. Bepilotne letjelice	20
3.2. Terestričko lasersko skeniranje	22
4. IZRADA 3D MODELA ZGRADE DOMA SINDIKATA	25
4.1. Povijest građevine	25
4.2. Prikupljanje podataka	26
4.2.1. Sony DSLR A-550	27
4.3. Obrada podataka	29
4.4. VisualSFM.....	30
4.4.1. Metoda SFM	30
4.4.2. Integrirani softveri CMVS/PMVS2.....	31
4.4.3. Oblak točaka	31
4.4.4. Učitavanje fotografija.....	33
4.4.5. Detektiranje identičnih značajki	34

4.4.5. Stvaranje osnovnog oblaka točaka	35
4.4.6. Stvaranje detaljnog oblaka točaka	36
4.4.7. Izlazni podaci u VisualSFM programu.....	38
4.5. MeshLab	39
4.5.1. Učitavanje podataka u MeshLab	39
4.5.2. Čišćenje oblaka točaka u MeshLab-u.....	40
4.5.3. Izrada teksture.....	41
4.5.4 Izlazni podaci u MeshLab-u	41
5. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA	44

SAŽETAK

U današnje doba ubrzanog razvoja tehnologije i modernizacije, dojučerašnji standardi u svijetu tehnologije kao što su diskete, kazete, računalni zasloni s katodnim cijevima, mobiteli s antenama, polako padaju u zaborav. Svakom novom modernizacijom pokušavamo olakšati svakodnevicu čovječanstvu te stvoriti više slobodnog vremena za sebe i druge.

U ovom radu prikazana je upotreba digitalnog fotoaparata u svrhu prikupljanja digitalnih fotografija zgrade Doma sindikata u Čakovcu iz kojih je kasnije izrađen trodimenzionalni model koristeći besplatne programe dostupne na internetu. Znanost i tehnika koja to omogućava naziva se fotogrametrija. Fotogrametrija se zasniva na činjenici da snimka nastaje prema određenim geometrijskim i optičkim zakonitostima te je njihovim poznavanjem moguće na osnovi snimke djelomično ili u potpunosti rekonstruirati snimljeni objekt. Za određivanje trodimenzionalnih svojstva objekta potrebno je načiniti najmanje dvije snimke koje prikazuju isto područje, ali s dva različita kuta snimališta. Takve snimke čine jedan stereopar, a takvo snimanje naziva se stereoskopsko, dok se fotogrametrijska rekonstrukcija uz pomoć stereoparova naziva stereofotogrametrija. Prema položaju snimališta fotogrametrija se dijeli na terestričku fotogrametriju, odnosno snimanje objekta sa zemlje i na aerofotogrametriju, kada se željeni objekt snima iz zraka. Za trodimenzionalnu rekonstrukciju je odabrana zgrada Doma sindikata, smještena na Trgu Republike u gradu Čakovcu, poznata kao nekadašnji trgovački kasino. U drugom poglavlju definirani su pojmovi kao što su stereopar, stereokamera, stereoskop, anaglifni postupak te ponešto o fotografiji. Sljedeće poglavlje govori o instrumentariju koji se koristi u fotogrametriji unutar kojeg su opisane bespilotne letjelice za potrebe aerofotogrametrijskog snimanja i laserski skeneri za potrebe terestričkog snimanja. U četvrtom poglavlju opisan je postupak prikupljanja podataka, odnosno digitalnih fotografija koje su kasnije korištene za izradu oblaka točaka pomoću besplatnog programa VisualSFM-a, koji služi za rekonstrukciju geometrije statičkog objekta na osnovu fotografija dobivenih pomoću kamere koja je u pokretu. Nakon dobivenog oblaka točaka, u radu je korišten također besplatan program MeshLab za daljnju obradu oblaka točaka zgrade Doma sindikata, kako bi se u konačnici dobio trodimenzionalni model.

Danas se na internetu nudi velik broj besplatnih programa koji se mogu koristiti u fotogrametrijske svrhe te se od samo nekoliko digitalnih fotografija mogu dobiti vrlo realistični trodimenzionalni modeli koji se mogu i materijalizirati uporabom 3D printera.

Ključne riječi: fotogrametrija, fotografija, oblak točaka, zgrada Doma sindikata, VisualSFM, MeshLab

1. UVOD

Fotografija danas ima vrlo široku primjenu. U prošlosti, fotografije su nastale korištenjem tamne komore (lat. *camera obscura*), dok u današnje doba postoje uređaji koji mogu bilo kada i bilo gdje zabilježiti trenutak na fotografiju. U prošlosti su korišteni analogni¹ i anaglifni² fotoaparati kojima je kao medij za pohranjivanje služio film – poliester presvučen na svjetlo osjetljivim solima srebrnih halida vezanih želatinom. Izlaganje takvog medija svjetlu rezultira latentnom³ slikom. Za razliku od analogne fotografije, digitalni fotoaparati ne koriste fotoosjetljivi film, već sliku projiciraju na osjetilo slike koje je sastavljeno od velikog broja fotoosjetljivih ćelija koje digitaliziraju elemente slike, tj. svjetlosne veličine pretvaraju u skup podataka o položaju, nijansi boje i stupnju osvijetljenosti pojedinih mikroskopskih površina koje čine sliku, a tako dobivene podatke zapisuju u odgovarajućem formatu na memorijske kartice. Na temelju dvije zabilježene fotografije koje čine stereopar može se dobiti dovoljno podataka da bi se mogla odrediti trodimenzionalna svojstva nekog objekta, ali pod uvjetom da su fotografije načinjene s dva različita mjesta istog područja ili objekta koji se fotografira. Kako bi se mogao dobiti konačan produkt u vidu 3D modela ili oblak točaka potrebna su odgovarajuća znanja u korištenju i programi koji su korisnicima dostupni i besplatni na internetu. Iako se ne radi o profesionalnim programima, u ovom radu je želja bila prikazati kako se upotrebom amaterskog digitalnog fotoaparata i besplatnih programa mogu dobiti vrlo dobri rezultati i vizualizirati snimljeni objekt.

¹ Analogni fotoaparat – fotoaparat koji koristi film kao zapis svjetla na medij

² Anaglifni fotoaparat – fotoaparat koji pomoću dvije fotografije omogućava pogled u trodimenzionalni „svijet“

³ Latentna slika – ovo je prvi korak u nastajanju realne slike, nakon prvobitne ekspozicije slika je nevidljiva (latentna), a naknadnim reakcijama dolazi do vidljivosti tog dijela filma [1]

2. FOTOGRAMETRIJA

Fotogrametrija (engl. *Photogrammetry*) je metoda kojom se pomoću fotografskih snimaka dobivaju podaci o obliku te veličina i položaj snimljenog objekta. Kako bi se iz snimljenih dvodimenzionalnih fotografija dobio trodimenzionalni oblik potrebne su dvije ortogonalne slike iz kojih se mogu odrediti trodimenzionalne koordinate neke točke. Na temelju samo jedne fotografije mogu se odrediti dvodimenzionalna svojstva objekta, a nastankom dvije ili više njih dobivaju se trodimenzionalna svojstva objekta [2].

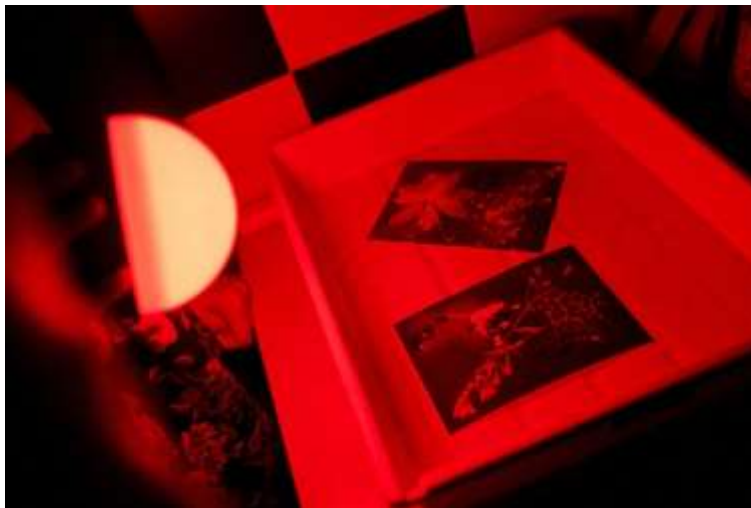
2.1. Fotografija

Fotografija je medij koji se može interpretirati na mnogo načina, ne samo da je medij koji nas prati već stoljećima, već je fotografija jedan djelić ljudskog dokumentiranja stvarnog života, a i umjetnosti. Biti fotograf može biti svatko, zabilježiti fotografiju je jednostavno, ne treba se biti kreativan, ali hoće li ta fotografija ispasti dobro ovisi o mnogo segmenata. Fotografija je vizualna komunikacija koja je u današnje vrijeme veoma razvijena, povoljna, masovna, precizna, najpouzdanija metoda dokumentiranja i prenošenja onog vizualnog na fotografiju. Kao što je i napisano, fotografiranjem se može baviti svatko pa zato postoje osobe koje se bave amaterskim fotografiranjem i osobe koje se bave profesionalnim fotografiranjem, neka razlika ipak postoji. Za dobru fotografiju treba biti strpljiv, dobro poznavati područje fotografije, imati vještine, biti samokritičan jer „slika govori tisuću riječi“. Da bi se dobila fotografija potreban je fotoaparat, a fotografije nema ako nema svjetla.

2.1.1. Analogni i digitalni fotografija

Analogni fotografija nastaje kemijskim putem, a dobiva se snimanjem na film, dok se digitalni fotografija dobiva pomoću fotoosjetljivog senzora. Kod digitalne fotografije se koristi čip i baterija, točnije svjetlosni senzor i električna energija koja je neophodna za sam rad. Na samome početku analogne fotografije su bile nešto bolje kvalitete od digitalnih, ali razvojem tehnologije digitalni fotografija vrlo brzo odmiče od analogne. Digitalni fotografija se koristi i danas jer ne treba postupak razvijanja fotografije u tamnim komorama, a i može se pohraniti mnogo više fotografija nego kod analogne i moguće ih je odmah vidjeti na zaslonu, a uz to je i jednostavnija i praktičnija.

Kod postupka nastajanja analogne fotografije potreban je film koji je prozirna plastična vrpca tanko premazana kemikalijama osjetljiva na svjetlo. Film se nalazi u posebnoj kutijici kako se ne bi izlagao svjetlosti u protivnome prije nego što stigne do tamne komore (slika 1), a izložen je svjetlu, bit će uništen [3].



Slika 1. Tamna komora u Muzeju suvremene umjetnosti Zagreb [4].

Kod digitalne kamere postupak nastajanja fotografije odvija se u digitalnoj kameri, odnosno sve se faze (snimanje, obrada i pohrana) odvijaju unutar kamere i postupak nastanka nije tako dugotrajan kao kod analogne fotografije.

Pri nastanku digitalne fotografije svjetlo kroz objektiv pada na fotoosjetljivi senzor koji je ujedno i osjetljiv na svjetlo, a naziva se CCD (engl. *Charge Coupled Device*). CCD je mali silikonski čip koji je smješten u žarišnoj ravnini objekta ili se, kao kod klasičnih fotoaparata, nalazi tamo gdje je smješten film.

Prednost digitalne fotografije je to što je senzor na jednom mjestu pa lakše podnosi vibracije. Senzor sadržava tisuće ili milijune fotoosjetljivih ćelija koje tvore piksele, on nije osjetljiv na boje nego na nijanse sivog. Ovisno o broju ovakvih fotoosjetljivih ćelija, odnosno piksela, ovisi i kvaliteta fotografije.

Prilikom dobivanja fotografije u boji koriste se kolor filtri koji se nalaze ispred svakog piksela, a najčešće dolaze u slijedu RGBG (engl. *Red Green Blue Green* – crvena, zelena, plava, zelena) [5].

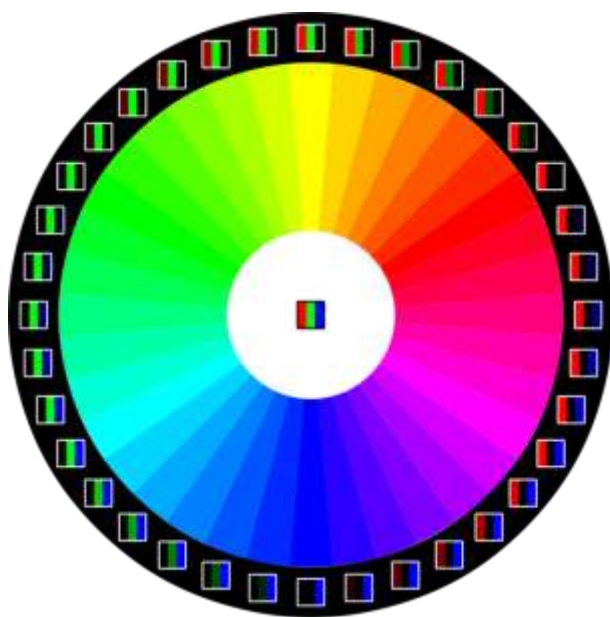
Svaka od ove tri boje, koje su temelj svake digitalne fotografije, imaju brojčanu vrijednost od 0 pa do 255 RGB. Npr. ako je vrijednost 0:0:0 dobije se crna boja, ukoliko

je vrijednost 255:255:255 dobije se bijela ili ako je vrijednost 255:0:0 tada se dobije čista crvena najjačeg intenziteta.

Svaki piksel sadrži ovakve vrijednosti, a miješanjem ovih triju, crvene, zelene i plave, može se dobiti nekih 16 milijuna različitih boja (slika 2) [6].

Osjetljivost senzora na svjetlo ili oznaka ISO (engl. *International Organization for Standardization*) označava se oznakama ISO 100, ISO 200, ISO 400, ISO 800, ISO 3200, ISO 6400.

Ukoliko su dobri svjetlosni uvjeti ili se fotografija radi po danu tada se namješta na ISO 100 – ISO 200, a kada su svjetlosni uvjeti slabiji koriste se ISO 400 – ISO 1600, dok se za noć koristi ISO 1600 i više. Najbolje bi bilo da je što manja vrijednost jer je tada i fotografija najbolja, a što je vrijednost veća dolazi do većeg šuma u fotografiji zbog preopterećenja senzora [3].



Slika 2. RGB vrijednost piksela [7].

2.2. Povijesni razvoj fotogrametrije

Prve fotografije nastaju u 11. stoljeću izumom fotoaparata, odnosno *camere obscurae*. Za takav izum zadužen je Ibn al-Haytham, a *camera obscura*, što bi na latinskome jeziku značilo „mračna prostorija“ ili „mračna kutija“, je prostorija potpuno zamračena s

jednom rupicom kroz koju ulazi svjetlost, dok je na suprotnoj strani bijeli zid na koji se projicira okrenuta slika, odnosno fotografija vanjskog svijeta.

Nakon toga je u 16. stoljeću povećana rupica te stavljena leća gdje se dobilo na oštirini i svjetlosti, samo je bilo pitanje kako zadržati sliku unutar *camere obscurae*.

Prve fotografije nastaju 1827. godine pomoću polirane cinčane ploče presvučene tankim slojem asfalta, osvijetljeni dijelovi su se stvrdnuli, a neosvijetljeni dijelovi su se otapali uljem. Za ovu fotografiju eksponiranu 12 sati odgovoran je Nicéphore Niépce, a nekoliko godina kasnije njegov izum usavršava Louis Jacques Mandé Daguerre.

Postupak poznat pod nazivom degerotipija⁴ je zapravo uspjeh fotografije koja je postala trajna, a na njoj se nalazi osoba pa se tako 7. siječnja 1839. smatra datumom rođenja fotografije.

U Hrvatskoj se fotografija javlja u Danici ilirskoj 6. travnja 1839. nakon godina stvaranja i usavršavanja na području fotografije.

Godine 1900. George Eastman je napravio fotoaparat za široke mase pod imenom Kodak Brownie te je ujedno bio i izumitelj fotografskog filma. U fotoaparat se stavljao film, a kada bi se potrošio slao se zajedno s kamerom u tvornicu Kodak gdje je potom razvijen i zamijenjen novim. Oprema postaje manja, jeftinija i kompaktnija.

1981. godine proizveden je digitalni fotoaparat u Japanskoj tvornici Sony pod imenom Mavica.

Pojavom programa kao što je bio Adobe-ov Photoshop polako se napušta analogni način izrade fotografije u laboratorijima za razvijanje i tamnim komorama zbog same lakoće obrade fotografije [3].

Nekada je rad na fotografiji bio težak zbog same opreme koja se morala nositi i materijala koji je bio potreban da bi se ploče pripremile.

1870. godine mokre ploče zamjenjuju se suhima koje se još koriste u terestričkoj fotogrametriji odnosno za fototeodolit⁵. Te iste godine kada je i izbio rat između Njemačke i Francuske, Pruski glavni stožer osniva na šest mjeseci terestričko fotografsko snimanje. Tada je taj postupak bio vrlo ograničen zbog opreme koja je bila

⁴ Degerotipija – jedan od prvih uspješnih oblika fotografije gdje se slika trajno zapisivala na neku podlogu, jedinstvena i unikatna, niti je postojala mogućnost umnožavanja [8]

⁵ Fototeodolit – mjerni instrument koji se koristi u svrhu terestričke fotogrametrije, najčešće u geodeziji za mjerenje zemljišta. Sastoji se od kamere i teodolita koji je povezan s njom, a zajedno služe za određivanje orijentacije snimanja [11]

veoma nepraktična, prevozila se na kolima, gdje su jedna prevozila tamnu komoru, a druga potreban pribor.

1902. godine talijanski inženjer geodezije Attilio Rauza upotrebljava balon bez posade pod nazivom „Graf Zeppelin“ te čini izvrsne stereofotografske snimke i te iste godine počinju se snimati teško dostupna mjesta [9].

Najveći razvoj fotogrametrijskog snimanja počinje tek u prvom svjetskom ratu (1914.-1918.) tj. snimanja koja su se odvijala iz letjelica pa se tako razvila i aerofotogrametrija. Prvo aerofotogrametrijsko snimanje u Hrvatskoj nastaje 1929. i 1930. godine snimanjem šireg područja grada Zagreba [10].

2.3. Podjela fotogrametrije

Modeliranje zasnovano na slikama ili fotogrametrija staro je koliko i moderna fotografija, pojavljuje se još od sredine 19. stoljeća. Fotogrametrija se može podijeliti s obzirom na nekoliko odnosa koji su navedeni u daljnjem tekstu.

2.3.1. Podjela s obzirom na položaj kamere u prostoru

Prva takva podjela odnosi se na položaj kamere u prostoru koja se dijeli na aerofotogrametriju i terestričku fotogrametriju, a terestrička fotogrametrija se ujedno koristila i u ovome radu. Osim aerofotogrametrije postoje još dvije podjele s obzirom na položaj kamere, a to su oritalna i ekstra-terestrička fotogrametrija.

Aerofotogrametrija je postupak snimanja koji se odvija s neke određene udaljenosti od fizičke površine Zemlje pa je tako područje njegove primjene široko tj. snimanje se odvija iz zrakoplova, satelita, bespilotnih letjelica (slika 3) i drugih objekata koji se nalaze u zraku. Aerofotogrametrijom se mogu postići kvalitetne i brze izmjere zemljišta, a pogodna je i za izradu planova i karata što je korisno za područje geodezije.



Slika 3. Prikaz aerofotogrametrijskog snimanja [12].

U inženjerstvu se aerofotogrametrija koristi za snimanje prometnica, hidrotehničkih objekata, u svrhu prostornog planiranja i urbanizma, a koristi se i u arheologiji, geologiji, geografiji te u vojne svrhe.

Za aerofotogrametriju se može reći da ima veoma široku primjenu, gdje se, suprotno aerofotogrametriji koja postiže snimke iz nekih većih udaljenosti, odnosno iz zraka, snimanje sa zemlje provodi terestričkom fotogrametrijom koja je ujedno zadužena za manja područja u odnosu na aerofotogrametriju.

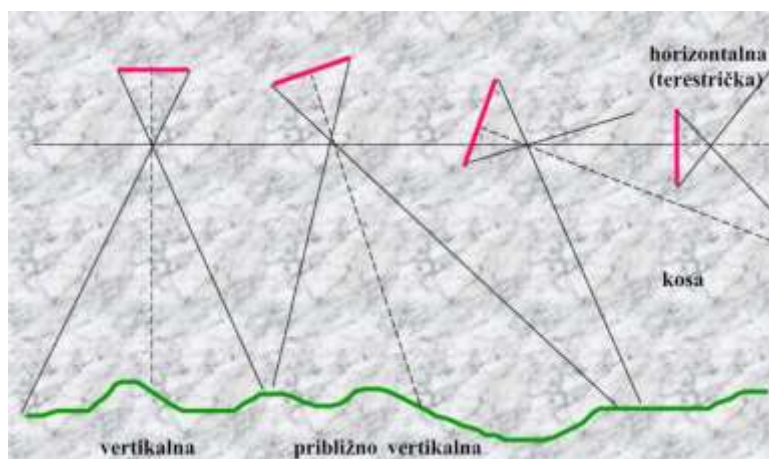
Terestrička fotogrametrija odvija se sa samog tla (slika 4), a pri snimanju nekih manjih područja kao što su pročelja zgrada, nasipi i manji objekti, koriste se terestrički laserski skeneri ili fototeodoliti.



Slika 4. Postupak skeniranja objekta; terestričko snimanje [13].

2.3.2. Podjela u odnosu na položaj snimke u prostoru

Fotogrametrija se može podijeliti i na položaj snimke u prostoru koja može biti vertikalna, približno vertikalna, kosa i horizontalna. Vertikalna i približno vertikalna su karakteristične za aerofotogrametriju, a kosa i horizontalna za terestričko snimanje (slika 5).



Slika 5. Podjela fotogrametrije u odnosu na položaj snimke u prostoru [14].

2.3.3. Podjela u odnosu na vrstu snimki

Podjela u odnosu na vrstu snimki može biti analogna (mjerjenja se vrše pomoću optičkih i mehaničkih uređaja) i digitalna (mjerjenja se vrše pomoću računala).

2.3.4. Podjela u odnosu na kameru koja se koristi

Pri podjeli u odnosu na kameru koja se koristi prilikom prikupljanja podataka razlikuju se mjerne i nemjerne kamere.

Mjerne kamere su one koje se najčešće upotrebljavaju u svrhe korištenja kod fotogrametrije. Svakom mjernom kamerom smatra se ona kamera koja ima poznate elemente unutarnje orijentacije - konstantu snimke, glavnu točku snimke i koordinatni sustav snimke, dok se elementi vanjske orijentacije kod terestričkog snimanja određuju geodetskim metodama gdje je kamera kombinirana s orijentacijskim uređajem odnosno teodolitom. Teodolit je uređaj koji se koristi za mjerenje horizontalnih i vertikalnih kutova [15].

Nemjerne kamere je potrebno prethodno kalibrirati kako bi se koristile u svrhu dobivanja mjernih podataka. Pod postupkom kalibracije podrazumijeva se određivanje

parametara kamere kao što su podaci o distorziji, konstanti kamere, pomacima glavne točke i dr [16].

Nekad su se kod analognih kamera koristile rubne markice koje su bile na tijelu fotoaparata kako bi se nakon svake ekspozicije preslikavale na medij. One su omogućavale da se rekonstruira slikovni koordinatni sustav na svakoj od njih. Analogne kamere su zamijenile digitalne gdje se umjesto markica koristi senzor. Fotografija dobivena senzorom je podijeljena na stupce i redove, odnosno ima matričnu strukturu. U tom koordinatnom sustavu senzora može se postići očitavanje koordinata detalja, a nakon toga se dovode koordinate u koordinatni sustav gdje se u obzir uzima unutarnja orijentacija kamere. Takav koordinatni sustav zove se slikovni koordinatni sustav, a dobije se rekonstrukcijom unutarnje orijentacije, a unutarnja orijentacija se utvrđuje kalibracijom kamere [17].

2.4. Stereofotogrametrija

Kao što je navedeno i u fotogrametriji tako je i kod stereofotogrametrije, na temelju jedne fotografije mogu se dobiti dvodimenzionalna svojstva snimljenog objekta. To znači da je moguće na temelju jedne fotografije dobiti rekonstrukciju nekog ravnog objekta kao što je zemljište ili pročelje neke zgrade. Na temelju snimljene dvije fotografije mogu se odrediti trodimenzionalna svojstva nekog objekta, a takve dvije fotografije nazivaju se stereopar.

Stereofotogrametrija je rekonstrukcija napravljena iz stereoparova. Danas se u stereofotogrametriji sve više koriste digitalne kamere koje zamjenjuju nekadašnje klasične kamere [18].

2.4.1. Stereopar

Stereopar čine dvije fotografije (slika 6) koje prikazuju isti objekt s dva različita stajališta. Snima se iz jednog stajališta stereokamerom koja u sebi sadrži dvije kamere ili pak dvjema kamerama pomoću kojih se snima isti objekt s dva različita stajališta koja moraju imati usporedne osi snimanja. Snimke mogu biti u digitalnom obliku ili na fotografskom filmu [19].



Slika 6. Stereopar zgrade Doma sindikata, Izvor: Ana-Marija Pandur

2.4.2. Stereokamera

Stereokamera (slika 7) je uređaj koji ima dva jednaka objektiva, a oba objektiva se nalaze na istoj kameri udaljenosti jedan od drugoga 65 milimetara. Kamere su postavljene otprilike kao razmak očiju, a njima se može istodobno fotografirati dvije fotografije nekog objekta za potrebe stereoskopskog istraživanja. Objekt ne mora biti snimljen stereokamerom za dobivanje stereopara već je moguće snimke napraviti s jednom kamerom na različitim lokacijama, ali one moraju biti rađene na istom objektu. Slikanjem istodobno dvjema kamerama također se može dobiti stereopar [20].



Slika 7. Stereokamera [21].

2.4.3. Stereoskop

Stereoskop (slika 8) je uređaj koji snimanjem dvije fotografije daje ljudskome oku osjećaj kao da s oba oka gleda neki predmet, objekt na temelju dvije ravne fotografije koje su slikane sa stereokamerom. Čovjek dobije takav trodimenzionalni osjećaj jer su fotografije postavljene u razmaku ljudskih očiju pa tako svako oko gleda po jednu fotografiju u objektivu. Prvi stereoskop izumio je 1838. godine Charles Wheatstone [22].



Slika 8. Stereoskop [23].

2.4.4. Anaglifni postupak

Anaglifni postupak je postupak koji na temelju dvije fotografije omogućuje pogled u trodimenzionalni „svijet“. Fotografije se fotografiraju pod nešto manjim kutem različitosti, zatim se crtaju, tiskaju ili pak projiciraju preklapanjem jedna preko druge u komplementarnim bojama. Naočale nam omogućuju pogled fotografija kroz kombinaciju dviju boja, crvene i zelenomodre boje, kako bi se dobio osjećaj trodimenzionalnog objekta.

Gledanjem kroz naočale jednim okom vidi se slika u boji koja je komplementarna s bojom jednog od stakala naočala, dok se druga boja stakla ne vidi (slika 9). Danas se upotrebljava u svrhe kinematografije, televizije itd [24].



Slika 9. 3D naočale [25].

3. INSTRUMENTARIJ U FOTOGRAMETRIJI

Ovisno o položaju kamere u prostoru u fotogrametriji se koriste različiti mjerni uređaji kojima se obavljaju trestrička i aerofotogrametrijska snimanja.

U aerofotogrametriji, odnosno snimanju iz zraka, najčešće se koriste bespilotne letjelice, dok se za trestričko snimanje sa zemlje koriste laserski skeneri.

3.1. Bespilotne letjelice

Godine 1979. rađen je eksperiment kojim se radilo fotogrametrijsko snimanje. Letjelica koja se koristila bila je u obliku aviona, a prikazana je na slici 10. Zbog velike brzine aviona i prevelikih vibracija eksperiment nije uspio jer su snimke bile poprilično mutne. Godinu dana kasnije rađen je model u obliku helikoptera, ali nosivost opreme bila je tri kilograma što je značilo da su se na helikopter mogle ugraditi samo posebne kamere koje su zadovoljavale uvjet letjelice. Prisutna su bila dva čovjeka, jedan pilot i jedan navigator. U to je doba izrada bespilotnih letjelica bila vrlo ograničena. Nekada su bespilotne letjelice bile vrlo korisne u otkrivanju neprijatelja, odnosno za vojne svrhe, dok se danas najviše koriste za lakše otkrivanje trenutnih situacija kao što su: poplave, nadzor prometa, širenje požara, nadzor granica, zatim snimanje nepristupačnih mjesta kao što su brane, dalekovodi, mostovi, cjevovodi, stijene, rekonstrukcija prometnica i dr. Bespilotne letjelice ne samo da su dobre za snimanje manjih područja, ako se govori o mikro i mini bespilotnim letjelicama, već donose bolje rezultate od satelitskog snimanja jer snimaju na manjoj udaljenosti i nisu toliko izložene atmosferilijama⁶.

Razlikuju se dvije osnovne grupe bespilotnih letjelica, a razlika je samo u visini do koje sežu. Letjelice koje lete na visini od 3000 metara pa i više i koje dulje vrijeme prikupljaju podatke i letjelice koje sežu u visinu do 300 metara, a tu ubrajamo makro i mini bespilotne letjelice. Podjela letjelica dana je u tablici 1.

⁶ Atmosferilije se odnose na oborine (kiša, snijeg, tuča i dr.) te na plinove koji čine atmosferu (kisik, dušik, argon i dr.)



Slika 10. Bepilotna letjelica tvrtke Hegi iz Przybilla 1979. godine [26].

Tablica 1. Kategorizacija bespilotnih letjelica po standardu UAVS - International

Naziv kategorije (eng.)	Akronim	Težina letjelice [kg]	Doseg leta letjelice [km]	Max. visina leta [m]	Autonomija leta [sati]
Micro	Micro	< 5	< 10	250	1
Mini	Mini	25 - 150	< 10	150 - 300	< 2
Close Range	CR	25 - 150	10 - 30	3000	2 - 4
Short Range	SR	50 - 250	30 - 70	3000	3 - 6
Medium Range	MR	do 1250	70 - 200	5000	6 - 10
Medium Range Endurance	MRE	do 1250	> 500	8000	10 - 18
Low Altitude Deep Penetration	LADP	do 350	> 250	50 - 9000	0,5 - 1
Low Altitude Long Endurance	LALE	< 30	> 500	3000	> 24
Medium Altitude Long Endurance	MALE	do 1500	> 500	14000	24 - 48

Izvor: Bepilotne letjelice za potrebe fotogrametrije [27].

Kako bi se bespilotne letjelice mogle koristiti za fotogrametrijsko snimanje, trebale bi zadovoljavati uvjete nosivosti opreme za snimanje i navigaciju, sadržavati projektiran plan leta koji mora biti vrlo točan, vremensko razdoblje koje letjelica može izdržati u zraku, minimalne vibracije i što manji utjecaj atmosferilija. Kako bi letjelice bile što duže u zraku i zadržale vremenski dulji boravak, na samu se letjelicu ugrađuje što manja i lakša oprema, a opet toliko stabilna da ne dolazi do nepoželjnih vibracija, ukoliko i dođe mdo njih letjelica bi se trebala s ugradbenim uređajima sama po sebi stabilizirati. Danas se najviše koriste letjelice (engl. *Drone*) koje pokreće električna energija s četiri elektromotora, a svaki se elektromotor može kontrolirati zasebno pa je zato manipulacija letjelicom i stabilizacija puno lakša (slika 11). Ugrađuje se oprema koja je

lagana, a kvalitetna. Razvojem tehnologije dolazi do razvoja sve boljih i kvalitetnijih letjelica [27].



Slika 11. Беспилотна летјеліца (engl. Drone) [28].

3.2. Terestričko lasersko skeniranje

Lasersko skeniranje je jedan od načina snimanja nekog prostora, objekta, nekog područja, a radi na principu laserskih zraka koje se reflektiraju od samog objekta natrag do mjernog instrumenta kojim se snima. Pritom se dobiva izmjerena udaljenost do objekta te kut ovisan o stajalištu s kojeg je snimano, a zajedno daju koordinate neke točke u 3D prostoru. Ovakav način mjerenja pojavio se krajem dvadesetih godina dvadesetog stoljeća. Terestričko lasersko skeniranje omogućuje brzo prikupljanje velikog broja točaka u kratkom vremenu, koje zatim čine oblak točaka.

Terestrički laserski skeneri mogu se podijeliti prema načinu mjerenja udaljenosti i prema načinu snimanja [29].

Laserski skeneri prema načinu mjerenja udaljenosti dijele se na pulsne, fazne te triangulacijske skenere.

Pulsni skeneri vremenski mjere odaslati i primljeni signal koji se šalje do određenog objekta. Ovakav način skeniranja pogodan je za veće udaljenosti jer ima izrazito velik domet koji može biti preko jednog kilometra, ali prilikom korištenja ovog skenera točnost skeniranja i podataka bit će nešto lošija, a pogodan je za skeniranje iz zraka.

Fazni skener (slika 12) mjeri razliku u fazi između odaslanog i primljenog signala. Ovakav način skeniranja ima ograničen domet koji iznosi do 100 metara, ali zato je njegova točnost izrazito velika i može se dobiti oblak točaka u kojem su točke međusobno udaljene nekoliko milimetara.

Triangulacijski skeneri su skeneri izrazito malih dometa koji iznosi nekoliko metara, rade na principu optičke triangulacije, odnosno laserska se zraka projicira na objekt i registrira se na senzoru koji je smješten na poznatoj udaljenosti od izvora zrake. Njihova točnost kreće se u mikrometrima, a najpogodniji su za skeniranje interijera te manjih područja. Kod terestričkih laserskih skenera najviše se koristi pulsno mjerenje.



Slika 12. Fazni 3D terestrički laserski skener, Faro Focus S [30].

Laserski se skeneri prema načinu snimanja dijele na kamera skenere, hibridne skenere i panoramske skenere.

Kamera skeneri imaju dva ogledala koja se koriste za refleksiju laserske zrake, jedno za horizontalnu i jedno za vertikalnu ravninu. Kako se ogledala mogu namjestiti za potrebe mjerenja, može se dobiti izrazito velika točnost pri mjerenju horizontalnih i vertikalnih kutova. Nedostatak je da ovaj način snimanja ima uzak prostor opažanja i iznosi $60^\circ \times 60^\circ$ pa tako snimanje objekta traje nešto duže. Domet koji postiže iznosi preko jednog kilometra ukoliko se radi pulsnom metodom mjerenja.

Hibridni skeneri su napravljeni kako bi uklonili neke od nedostataka kamera skenera, razlika je u tome da hibridni skeneri imaju dio na instrumentu ili cijeli instrument koji je u mogućnosti snimati oko svoje osi gdje se dobiva snimka od $360^\circ \times 60^\circ$.

Panoramski skeneri, za razliku od kamera skenera i hibridnih skenera, snimaju sve oko sebe osim područja ispod njih. Kod panoramskih skenera u kratkom vremenu

moguće je snimiti veliko područje i prikupiti veću količinu podataka pa se tako najviše koristi fazna metoda zbog kratkog dometa, a najpogodnija je za zatvorene prostore [31].

Odabir laserskog skenera ovisi o namjeni za koju će poslužiti, svaki od njih ima neke nedostatke i prednosti, neki su pogodni za manja područja, kao na primjer za interijere, dok su drugi bolji za veća područja, eksterijere te velike objekte.

4. IZRADA 3D MODELA ZGRADE DOMA SINDIKATA

4.1. Povijest građevine

Društveni život grada Čakovca seže u daleku prošlost. Težnja ljudi u samom gradu Čakovcu za društvenim životom stvara zajednicu koja nastaje radi udruživanja, zabave, dobrotvornih svrha, sporta i umjetnosti te radi samoobrazovanja, osnivanja ustanova ili sličnih interesa.

Današnja zgrada sindikata, a nekad zgrada za društveno okupljanje bogatog građanstva, novoga društvenoga sloja u Međimurju, izgrađena trgovačkim kapitalom, nalazi se na Trgu republike u gradu Čakovcu.

Trgovački klub osnovan 11. travnja 1847. godine prvi se useljava u zgradu nekad zvanu trgovački kasino 1903. godine, iste godine kada je i podignuta. Arhitekt Ödön Horvath zaslužan je za ovu estetski istaknutu zgradu u Čakovcu, građenu secesijskim stilom⁷ s pročeljem kombiniranim ukrasima od opeke i žbuke.

1903. godine pa nadalje održavale su se večeri glazbe, zimi književne večeri, večeri druženja, plesa, tombola i pjevačkih natjecanja te damske večeri. Godine 1905. klub ima značajnu i korisnu funkciju u pogledu mjesne trgovine, a članstvo se plaćalo deset kruna. Službeni jezik kluba bio je mađarski pa se tako i razgovaralo na mađarskom jeziku. Dva je desetljeća (od 1966. – 1986. godine) dio zdanja bio namijenjen Knjižnici i čitaonici.

Od završetka drugog svjetskog rata pa do danas zgrada je poznata kao sjedište sindikata (slika 13). Nekada su prostorije bile namijenjene za druženje, kartanje, čitanje, društvene igre, prostorija za ples odnosno plesni salon i posebna za dame s električnim osvjetljenjem i bogatim namještajem [32].

⁷Secesijski stil – ovaj stil se javlja u Hrvatskoj krajem 19. stoljeća pod bečkim utjecajem, a znači odcjepljenje, osamostaljenje te se širio diljem europske arhitekture pa tako i kod nas. Donio je primjere arhitekture nastale inspirirane prirodom, šarolikim detaljima i kompleksnim uzorcima [33].



Slika 13. Trgovački kasino nekad, danas zgrada Doma sindikata sa središtem u Čakovcu, Izvor: Ana-Marija Pandur

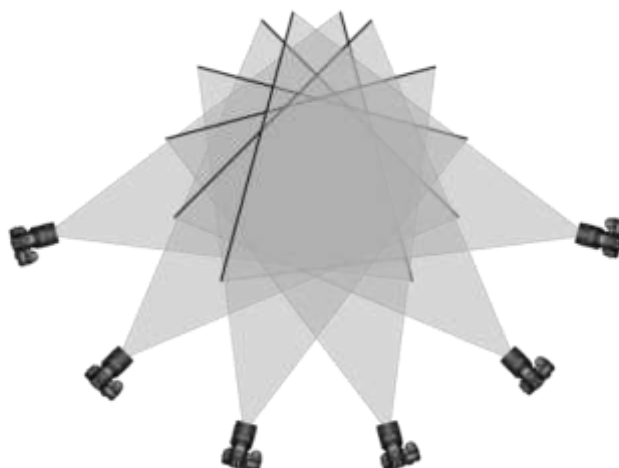
4.2. Prikupljanje podataka

Za prikupljanje fotografija zgrade Doma sindikata, koje su potrebne u kasnijem postupku rekonstrukcije geometrije, koristio se poluprofesionalni fotoaparat Sony DSLR A-550.

Fotografije zgrade Doma sindikata nastale su 14. studenog 2018. godine u Čakovcu u poslijepodnevnim satima kada je Sunce zašlo ispod horizonta. Razlog tome je kako bi sve fotografije, odnosno sve površine zgrade, imale istu osvijetljenost. Zgrada je fotografirana na konvergentan način, što bi značilo da je zgrada bila u središtu, a fotografije su načinjene hodanjem oko nje. Ovakav način fotografiranja predložen je na fotografiji 14.

Načinjeno je nešto više od 250 fotografija oko zgrade s time da se vodilo računa o odgovarajućim preklapima fotografija. To je bitno zbog prepoznavanja zajedničkih značajki susjednih fotografija u VisualSFM programu, koji će biti kasnije opisan u radu.

Iako postoji više načina fotografiranja modela, ovaj model je fotografiran na konvergentan način, teretističkim snimanjem te dovoljnim preklapanjem između fotografija.



Slika 14. Konvergentan način fotografiranja [34].

4.2.1. Sony DSLR A-550

Kod izrade trodimenzionalnog modela zgrade Doma sindikata korišten je poluprofesionalni fotoaparatus Sony Alfa 550, DSLR (engl. *Digital Single Lens Reflex*) što bi značilo da je digitalno zrcalno – refleksni fotoaparatus.

Nakon samog izuma Sony A-550 konkurirao je među nekolicinom fotoaparatus koji su bili veoma slični, no opet različiti gdje je baš ovaj model zadovoljavao mnoge kriterije, od kojih je ponajviše važna cijena koja je bila veoma prihvatljiva te karakteristike samog modela (tablica 2).

Fotografije ovog modela u RAW⁸ formatu dovoljno su dobre pa je umjesto JPEG (engl. *Joint Picture Expert Group*) formata preporučljivo fotografiranje u RAW formatu zbog oštrijih, točnijih i umjerenijih boja fotografija. RAW zapis je najkvalitetniji zapis koji fotoaparatus može ponuditi. Ovaj oblik je najbolji zbog lakše naknadne obrade fotografije na računalu, dok je nedostatak ovakvog zapisa taj što takav format sadržava podosta velike fotografije od 10 do 20 MB, dok su JPEG fotografije veličine od nekoliko kB do 5 MB. Zbog male veličine JPEG fotografija, mogućnost naknadne obrade je smanjena. Npr. kod balansa bijele boje kod JPEG zapisa potrebne su mnogo složenije radnje, dok kod RAW fotografija podešavanje je moguće jednim klikom miša [3].

⁸ RAW – sirov format koji se dalje razvija, slično kao što je negativ kod filma. Najčešće se koristi kada se fotografija želi naknadno obrađivati u nekom od programa

Tablica 2. Karakteristike digitalnog fotoaparata Sony A - 550

OPIS UREĐAJA	
Tip aparata:	DSLR
Dimenzije:	137 x 104 x 84 mm
Težina:	632 grama
ZASLON, TRAILO	
Tip:	Zakretni, LCD
Dijagonala i rezolucija:	3 inča, 921,600 točaka
Tražilo:	Optičko
BATERIJA	
Tip i kapacitet:	Li – Ion, 1650 mAh
Broj okretaja (CIPA standard):	480
SENZOR	
Megapiksela:	14,2
Veličina senzora:	APS –c (23 x15 mm)
IOS osjetljivost:	Auto, 200 – 12800
RAW format:	Da
Stabilizacija:	Da
Kontinuirano okidanje:	7 fps
OBJEKTIV	
Tip:	Izmjenjivi, Sony/Minolta alpha mount
IZBORNIK, POVEZANOST, MEMORIJA	
Žičano povezivanje:	USB 2.0 HDMI
Memorija:	SD memorijske kartice, Memory Stick
AUTOFOKUS I BLJESKALICA	
Tip autofokusa:	Kontrastni na senzoru, Fazni (odvojeni detektor)
AF točka:	9
Doseg bljeskalice:	12 metara

Izvor: Usporedi.hr [35].

Izumom fotoaparata Sony DSLR A-550 (slika 15) konkurira među modelima kao što su A230 i A330 te model A380. Model A500 je veoma sličan ovom modelu što se tiče specifikacija, ali se zato razlikuje u nekoliko bitnih karakteristika kao što su: kontinuirano okidanje gdje A550 okida 7 slika u sekundi, rezolucija senzora je 14 megapiksela te LCD s rezolucijom od 920000 točkica, dok A500 okida 5 slika u sekundi te ima senzor od 12 megapiksela i LCD s 230000 točkica.



Slika 15. Sony DSLR-A550, [36].

Neke od prednosti ovog fotoaparata su: dobro ležanje u ruci, brzo kontinuirano okidanje i veliki buffer (engl.), HDR snimanje, fantastična kvaliteta slika iz RAW formata, dugotrajna baterija, kontrastni auto fokus aktivan tijekom LiveView-a, mogućnost provjere manualnog fokusa na glavnom senzoru, performanse na višim ISO⁹ vrijednostima (1600 – 3200), zaokretni ekran, vrhunska kvaliteta prikaza na LCD ekranu, podrška za dva formata memorijskih kartica, stabilizirani senzor, brzina auto – fokusa, kelvin WB¹⁰, precizna indikacija stanja baterije, pokretanje auto fokusa i gašenje ekrana pomoću senzora ispod optičkog tražila [36].

4.3. Obrada podataka

Kada se obavilo terensko snimanje zgrade koja je poslužila kao model, preostaje nekoliko koraka do izrade gustog 3D oblaka točaka. Najbitnije su fotografije koje su snimljene kako bi program što bolje odradio posao te izradio što bolje rezultate na

⁹ ISO (engl. *International Organization for Standardization*) – osjetljivost senzora na svjetlo

¹⁰ WB (engl. *White balance*) – ravnoteža bijele boje

temelju istih. Za izradu modela koristi se program VisualSFM. Može se reći da je veoma lak za korištenje jer korisnika od dvodimenzionalnih fotografija pa do izrade gustog 3D oblaka točaka dijeli samo par koraka i kraće vrijeme potrebno za obradu, koje može potrajati nekoliko sati kao u ovome slučaju zbog veće količine fotografija.

Kako bi se korištenjem ovog programa dobili bolji rezultati, preporuka je koristiti od 50 do 200 fotografija. Kod izrade ovog modela korišteno je njih 178. Program sadrži samo jednu alatnu traku, a na njoj se nalazi sve što je potrebno za izradu gustog 3D oblaka točaka.

4.4. VisualSFM

VisualSFM je besplatan softver te je lako dostupan za korištenje. Za ovaj softver zaslužan je Changchang Wu, a to je GUI¹¹ (engl. *Graphical user interface*) aplikacija koja za 3D rekonstrukciju koristi strukturu iz pokreta (engl. *Structure from motion*), što ujedno pomaže korisnicima računala odnosno programerima.

Za proces rekonstrukcije nije potrebno grafičko korisničko sučelje (GUI), rekonstrukciju je moguće obaviti i bez njega jer sve što je potrebno za istu nalazi se na jednoj alatnoj traci prikazanoj na slici 16. Kako bi se dobila što gušća rekonstrukcija, odnosno bolji rezultat u vidu oblaka točaka, u program je potrebno integrirati softvere poput PMVS/CMVS (engl. *Patch - Based Multi - View Stereo / Clustering Views for Multi - view Stereo*) [37].



Slika 16. Alati potrebni za 3D rekonstrukciju u VisualSFM programu, Izvor: Ana-Marija Pandur

4.4.1. Metoda SFM

SFM (engl. *structure from motion*) je jedan od važnijih procesa kod obrade fotografija. „*Structure from motion*“ je fotogrametrijska metoda kojom se na temelju digitalnih fotografija dobiva trodimenzionalna geometrija statičke scene pomoću

¹¹ GUI (engl. *Graphical user interface*) – grafičko korisničko sučelje, predstavlja neki način odnosa čovjeka s računalom gdje se ikone, prozori, gumbi s tekstom ili slikama, okvir za unos teksta, potvrdni okvir i radijski gumb prikazuju uz pomoću tekstovnih poruka i obavijesti [38].

kamere u pokretu. Isto kao i ljudi koji vizualno percipiraju informacije o trodimenzionalnoj strukturi iz okoliša tako i pronalaženje strukture iz gibanja predstavlja sličan problem. U slučaju i jednog i drugog potrebno je pronaći podudaranja između fotografija kako bi se dobila adekvatna 3D rekonstrukcija nekog objekta, iako ponekad dolazi do nekih neodgovarajućih podudarnosti koje bi se trebale ukloniti.

Za dobivanje trodimenzionalnog modela potrebno je fotografirati nekoliko fotografija, odnosno ukoliko postoji više fotografija, željeni oblak točaka bit će vizualno bolji. Zadatak računala je da te fotografije poveže u cjelinu, a zatim generira oblak točaka [39].

4.4.2. Integrirani softveri CMVS/PMVS2

Što bolja i gušća rekostrukcija u VisualSFM-u postiže se spajanjem dijelova u cjelinu pomoću PMVS (engl. *Patch-Based Multi View Stereo*) softvera kojeg su razvili Yasutaka Furuwaki i Jean Ponce te softvera CMVS (engl. *Clustering Views for Multi-view Stereo*) kojeg je razvio Yasutaka Furuwaka. Da bi VisualSFM koristio PMVS2/CMVS potrebne su tri izvršne datoteke: pmvs2.exe, cmvs.exe i genOption.exe. Datoteke je potrebno spremiti u mapu gdje se nalaze izvršne datoteke VisualSFM-a.

Kada su datoteke spremljene u VisualSFM mapu može se koristiti GUI za kreiranje oblaka točaka iz fotografija [40].

CMVS je softver koji bi se trebao koristiti zajedno sa softverom SFM Bundler i softverom MVS (engl. *Multi-view stereo*) - PMVS2. PMVS je softver koji uzima skup fotografija i parametre fotoaparata, a nakon toga rekonstruira 3D strukturu scene ili objekta vidljivog na fotografiji. Najčešće se neke strukture ne prikazuju na rekonstrukciji, jer softver automatski neke filtrira, kao što su na primjer pješaci ispred zgrade [41].

PMVS2 je druga verzija softvera, odnosno poboljšana u odnosu na prethodnu verziju PMVS. Razlika je u tome da bi trebao raditi puno brže te bolje i točnije rekonstruirati 3D točke. Ovaj softver prvenstveno je namijenjen računalnim te grafičkim inženjerima, dok su za umjetnike, koji žele 3D rekonstrukciju slika, pogodni drugi programi [42].

4.4.3. Oblak točaka

Oblak točaka je skup podataka u prostoru koji se može dobiti 3D skeniranjem nekog prostora ili nizom fotografija, ali pod uvjetom da ima dovoljnog međusobnog

preklapanja istih, a iz njih se metodom SFM generira oblak točaka kojim se može vizualno predočiti 3D prikaz nekog objekta.

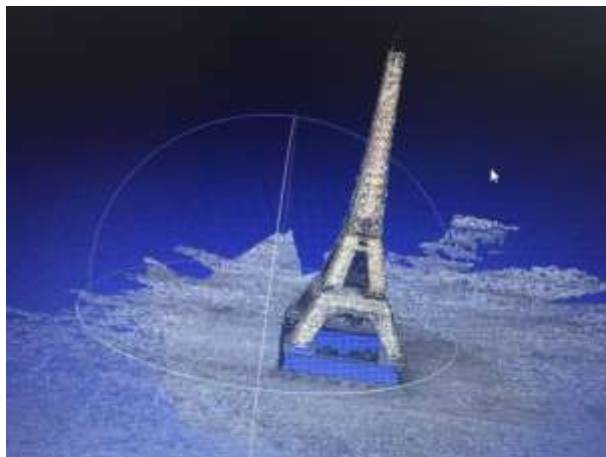
Svaka točka prostorno je određena, ima koordinate, a može sadržavati i boju, a tada govorimo o boji teksture gdje sam objekt poprima vrlo realističan prikaz.

Oblak točaka koristi se u mnoge svrhe kao što su vizualizacija, za izradu 3D CAD (engl. *Computer Aided Design*) modela za proizvodnju dijelova, praćenje okoliša, šumarstva, poljoprivrede i pomaka objekata, rudnih i površinskih iskopa, za potrebe projektiranja i planiranja itd.

Pomoću oblaka točaka može se dobiti ne samo točkama već i plohama prikaz nekog objekta, a ukoliko se radi o nekim manjim objektima ili predmetima postoji mogućnost ispisa 3D skenerom.

Neki objekti mogu biti prikazani oblakom točaka iako su veličine od nekoliko milimetara pa sve do većih dimenzija kao što su gradovi gdje su prikazane ceste, zgrade, vodovi, drveće i ostalo [43].

Slika 17 prikazuje gusti oblak točaka koji je nastao fotografiranjem makete, zatim su fotografije obrađene u *VisualSFM* programu. Nakon obrade fotografija kao izlazni produkt dobiva se gusti oblak točaka i zatim se prebacuje u *Meshlab* gdje se naknadno može obrađivati.

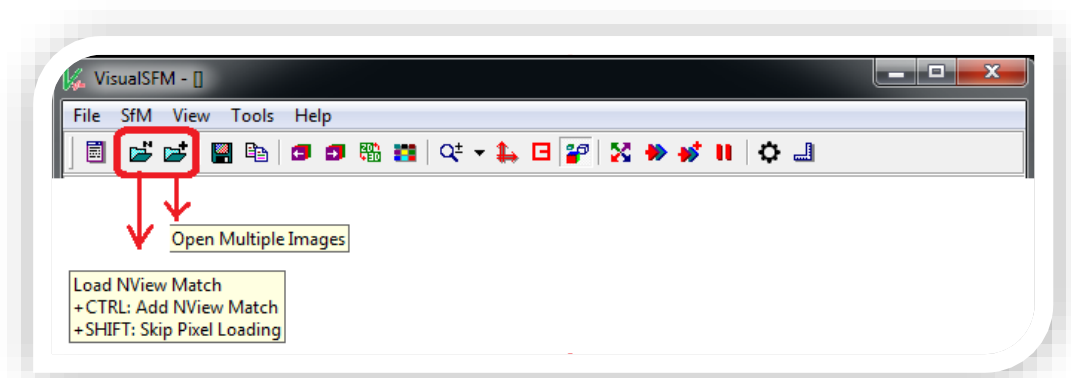


Slika 17. Gusti oblak točaka nastao prilikom obrađivanja dvodimenzionalnih fotografija u VisualSFM programu, Izvor: Ana-Marija Pandur

4.4.4. Učitavanje fotografija

Kako bi se izradio gusti 3D oblak točaka zgrade Doma sindikata potrebno je u VisualSFM učitati snimljene fotografije zgrade Doma sindikata.

Iako postoje dva načina na koja se mogu učitati fotografije koristio se onaj najbrži i to klikom na ikonu pod nazivom *Open multiple images* koja se nalazi na traci, a koja omogućuje otvaranje više fotografija (slika 18).

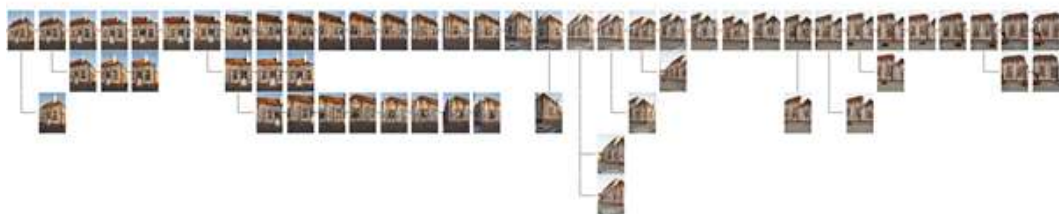


Slika 18. Na slici su prikazane ikone za učitavanje fotografija u VisualSFM programu,

Izvor: Ana-Marija Pandur

Klikom na ikonu otvara se prozor gdje se prvo odabire mapa u kojoj su fotografije spremljene, a zatim se označe sve fotografije koje će se koristiti za izradu oblaka točaka.

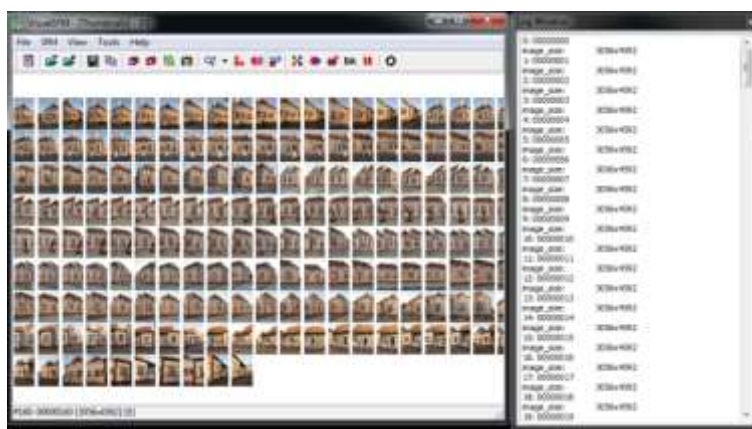
Zbog većeg broja fotografija programu je trebalo par minuta da obradi i prikaže fotografije. Slika 19 prikazuje međusobnu povezanost fotografija.



Slika 19. Međusobna povezanost fotografija, Izvor; Ana-Marija Pandur

U dodatnome prozoru, koji se najčešće nalazi s desne strane, prikazuju se podaci za svaku fotografiju, kao što su informacije o pikselima i veličina fotografije (slika 20).

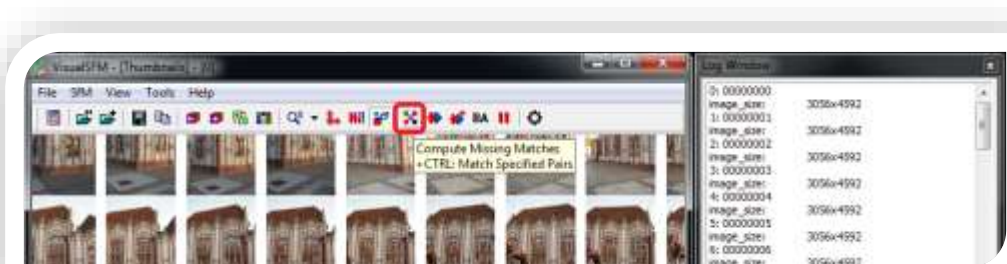
Ovaj prozor prati proces rekonstrukcije te daje informacije do samog završetka izrade oblaka točaka.



Slika 20. Slika prikazuje učitane fotografije (lijevo) i prozor u kojem se prikazuju podaci o fotografijama (desno), Izvor: Ana-Marija Pandur

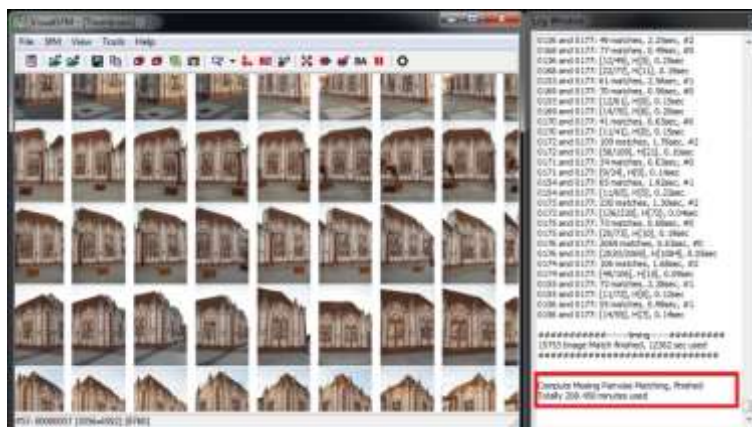
4.4.5. Detektiranje identičnih značajki

Nakon što su se sve fotografije učitale, koristi se ikona na istoj traci, a klikom na ikonu *Compute Missing Matches* program pronalazi značajke u svakoj od fotografija te pokušava pronaći podudaranja (slika 21).



Slika 21. Prikaz ikone za detektiranje identičnih značajki, Izvor: Ana-Marija Pandur

U ovom postupku program obrađuje fotografije na dva načina gdje je prvi brz i ovisi o broju i veličini fotografija, dok drugi dio može potrajati i po nekoliko sati ukoliko su fotografije velike i ima ih mnogo. U ovom slučaju ovaj postupak pronalaženja podudarnosti trajao je gotovo 3 i pol sata (slika 22).



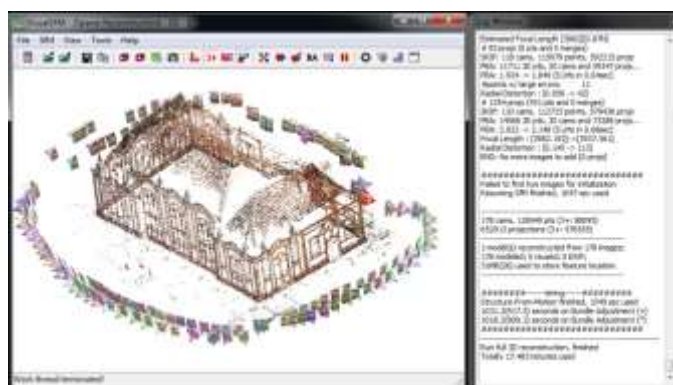
Slika 22. Vrijeme koje je bilo potrebno za pronalaženje podudarnosti fotografija, Izvor:

Ana-Marija Pandur

4.4.5. Stvaranje osnovnog oblaka točaka

Ovaj korak ne traje koliko detektiranje identičnih značajki, za svega 17 minuta može se vidjeti (slika 23) kako je VisualSFM nakon detektiranja identičnih značajki kod fotografija izradio točkasti model u 3D prostoru.

Na samom početku kada se klikne na ikonu *Reconstruct Sparse* može se vidjeti proces u kojem program izrađuje osnovni oblak točaka u realnom vremenu. Osim oblaka točaka u ovom koraku izračunavaju se i prikazuju pozicije kamera u odnosu na fotografirani objekt. Pomoću tipkovnice i miša može se prolaziti kroz prostor, rotirati, povećavati, smanjivati te vidjeti gdje se koja od fotografija nalazi. U ovom slučaju, nakon konačnog dobivenog osnovnog oblaka točaka, program je generirao 127 148 točaka.



Slika 23. Stvaranje osnovnog oblaka točaka, od kojeg je generirano 127148 točaka

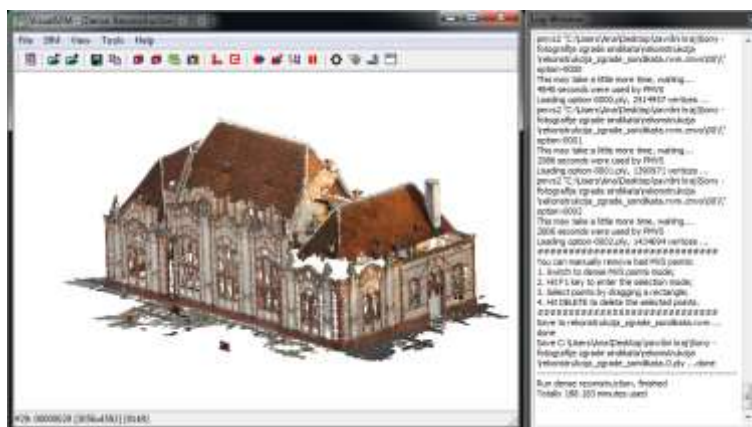
Izvor: Ana-Marija Pandur

4.4.6. Stvaranje detaljnog oblaka točaka

Za stvaranje gušće rekonstrukcije koriste se integrirani programi CMVS/PMVS. Prije nego što počne sam proces potrebno je spremati .nvm datoteku.

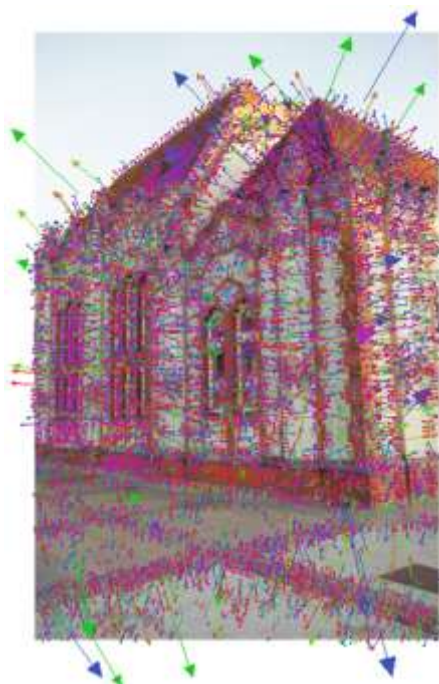
VisualSFM kreira novu mapu .nvm.cmvs gdje se zatim pokreće CMVS. Ovo je završni korak gdje se dobiva gusti oblak točaka iz fotografija.

Sam proces obrade također je potrajao nešto duže kao i kad je program obrađivao fotografije tražeći identične značajke, a trajao je oko tri sata. Nakon što program obradi sve potrebno može se mijenjati pogled između rijetkog i gustog oblaka točaka. Zgrada Doma sindikata u ovom koraku prikazana je u obliku gustih točaka (engl. *Reconstruct Dense*), izrađena od prethodno napravljenog osnovnog oblaka točaka, snimljenih fotografija te izračuna parametara kamere (pozicije kamere). Takav gusti oblak točaka dalje će poslužiti za izradu 3D modela i texture u MeshLab programu. Na slici 24 prikazan je gusti oblak točaka zgrade Doma sindikata koji je sadržavao 2 206 660 točaka.



Slika 24. Detaljan oblak točaka zgrade Doma sindikata, Izvor: Ana-Marija Pandur

Nakon završenog procesa izrade detaljnog oblaka točaka, VisualSFM omogućava provjeru dobivenih podataka i omogućuje prikaz detektiranih značajki za svaku načinjenu fotografiju (slika 25).



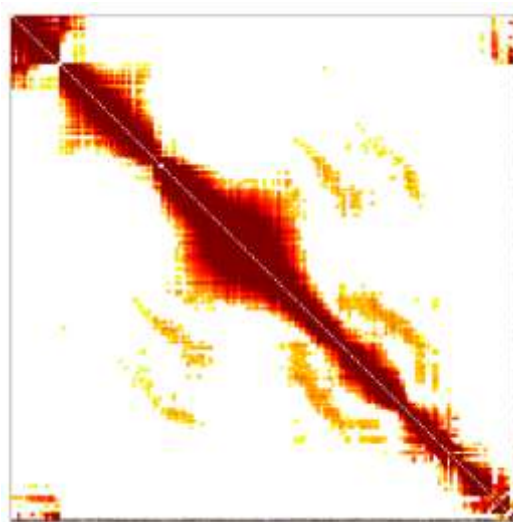
Slika 25. Prikaz detektiranih značajki za svaku načinjenu fotografiju, Izvor: Ana-Marija Pandur



Slika 26. Prikaz detektiranih značaki na dvije različite fotografije, Izvor: Ana-Marija Pandur

Slika 26 prikazuje detektirane značajke na dvije različite fotografije. Ukoliko se ustanovi da je program pogrešno detektirao značajke na fotografijama, možemo ručno ukloniti pogrešno detektirane zajedničke značajke.

Slika 27 prikazuje matricu usporedbe koja prikazuje jačinu povezanosti između fotografija (zajedničkih točaka pronađenih na paru fotografija). Fotografije su poredane duž x i y osi – dijagonala je bijele boje jer se fotografija uspoređuje sama sa sobom. Crvena boja označava jaku povezanost između fotografija, a žuta i zelena boja manju povezanost odnosno manji broj zajedničkih značajki.



Slika 27. Fotografija prikaza matrice usporedbe

4.4.7. Izlazni podaci u VisualSFM programu

Prilikom stvaranja detaljnog oblaka točaka program VisualSFM sprema datoteku .nvm.cvms gdje se pohranjuju sve datoteke detaljno pohranjenih modela, fotografije i parametri kamere koji su korišteni prilikom snimanja zgrade Doma sindikata. Kreira se i ply. datoteka u koju se pohranjuje detaljan oblak točaka te informacije o položaju, boji i normali svake točke. Ukoliko ovaj oblak točaka želimo uređivati u nekom od softvera ove nam datoteke to i omogućuju. Na dobivenom oblaku točaka postoje neki nedostaci, kao npr. kod krova, a razlog tome je način fotografiranja objekta. Kako bi se upotpunio prostor trebale bi se napraviti slike iz zraka. Upravo zato postoje pojedini softveri koji omogućuju poboljšanje samog modela gdje se može dodavati tekstura, brisati

nepotrebne točke, uređivati dobiveni oblak točaka te razne druge opcije koje pomažu kako bi model izgledao bolje, a u ovom slučaju koristi se MeshLab.

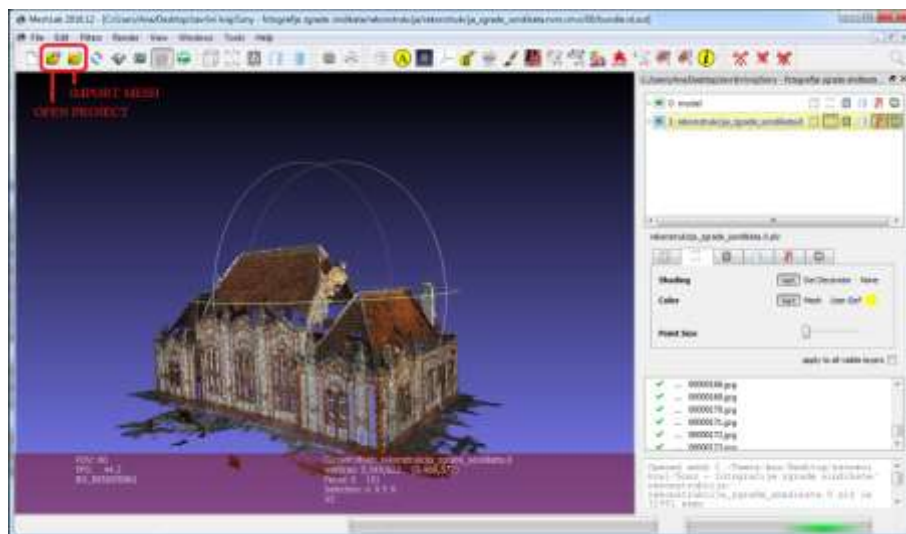
4.5. MeshLab

MeshLab je program otvorenog koda kao i VisualSFM, a koristi se u svrhu obrade i uređivanja 3D mreža trokutova koje sačinjavaju objekt. Nakon obrade fotografija i dobivenog detaljnog oblaka točaka u VisualSFM-u daljnjom obradom istog, korištenjem MeshLab programa, detaljni oblak točaka može se dodatno obraditi za bolju vizualizaciju trodimenzionalnog modela.

Program ima na raspolaganju alate za vizualizaciju, a neki od njih su: čišćenje crteža zaglađivanjem, popunjavanje manjih rupa, kreiranje tekstura i mnogi drugi alati koji služe kako bi se model što više približio željenim vizualnim rezultatima.

4.5.1. Učitavanje podataka u MeshLab

Nakon procesa obrade fotografija u VisualSFM programu spremile su se datoteke gdje je model zgrade sindikata spremljen u obliku gustog oblaka točaka, za potrebe daljnje mogućnosti obrade. Kada se otvori program potrebno je umetnuti mapu koja je stvorena tijekom detaljne rekonstrukcije u VisualSFM-u što je moguće na dva načina i to pod opcijom datoteka (engl. *File*) ili na traci pod nazivom otvaranje projekta (engl. *Open project*), a nakon toga “uvoz mreže” (engl. *Import mesh*). Prvo se otvara ikona *Open project*, zatim mapa koja je stvorena tijekom detaljne rekonstrukcije (*.nvm.cmvs). U toj mapi se otvara *.nvm.cmvs/00 pa zatim “bundle.rd.out” datoteka gdje se nakon otvaranja pojavljuje još jedan prozor gdje se odabire datoteka list.txt koja se na taj način otvara. Ove navedene datoteke koje se otvaraju u programu učitat će gusti oblak točaka. Nakon toga slijedi ikona *Import mesh*, a otvaranjem ove ikone odabire se datoteka koja je kreirana od strane VisualSFM/CMVS (*.0.ply). Ikone potrebne za unos modela nalaze se na slici 28, kao i model koji je umetnut u program Meshlab.

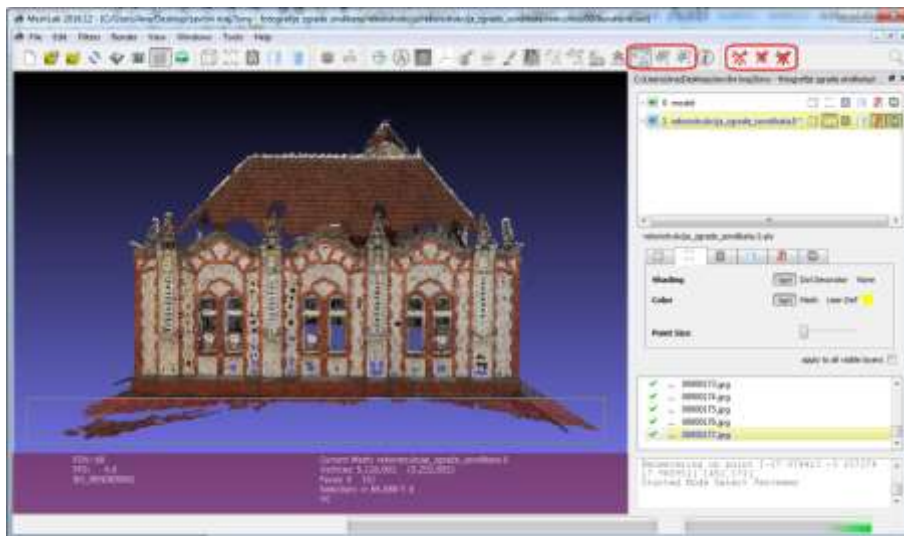


Slika 28. Umetanje oblaka točaka u MeshLab program, Izvor: Ana-Marija Pandur

4.5.2. Čišćenje oblaka točaka u MeshLab-u

Sljedeći korak nakon umetanja modela je čišćenje oblaka točaka. Postoje “zalutale” točke nastale greškom softvera i algoritama, prikazani objekti u prostoru, rezultat pogreške pri mjerenju (refleksija) prilikom obrade podataka pa zato ovaj softver sadrži alat koji služi kako bi uklonio višak, odnosno neželjene točke prilikom daljnje obrade modela.

Na slici 29 prikazane su ikone alata koje služe za brisanje ovih točaka. Postoje tri ikone s lijeve strane (engl. *Select Vertexes*, *Select Faces in a rectangular region* i *select Connected Components in a region*), a služe za označavanje dijelova koji se žele obrisati. Pritiskom na tipku *ctrl* možemo označavati više dijelova odjednom, jer kada označimo područje koje će se brisati, imamo tri ikone s desne strane koje se naknadno nakon označavanja koriste da bi se ta područja obrisala.



Slika 29. Ikone za čišćenje oblaka točaka, Izvor: Ana-Marija Pandur

4.5.3. Izrada teksture

Kako bi se dobio konačan izgled modela raznim se alatima poboljšava njegov izgled, pokušavajući dobiti što bolju sliku koja može biti hrapava ili glatka, popunjavaju se praznine te nadomještaju neki od nedostataka. VisualSFM je napravio dobar dio posla, a rezultati su bili očekivani, jer kao što je staklo ili vodena površina koji imaju veću refleksiju, taj dio ponekad stvara probleme što se tiče oblaka točaka, a površine koje se nalaze na većoj visini, kao u ovom slučaju krov, gdje nisu načinjene fotografije, stvaraju programu poteškoće jer nema potrebne podatke kojima bi taj dio upotpunio.

4.5.4 Izlazni podaci u MeshLabu

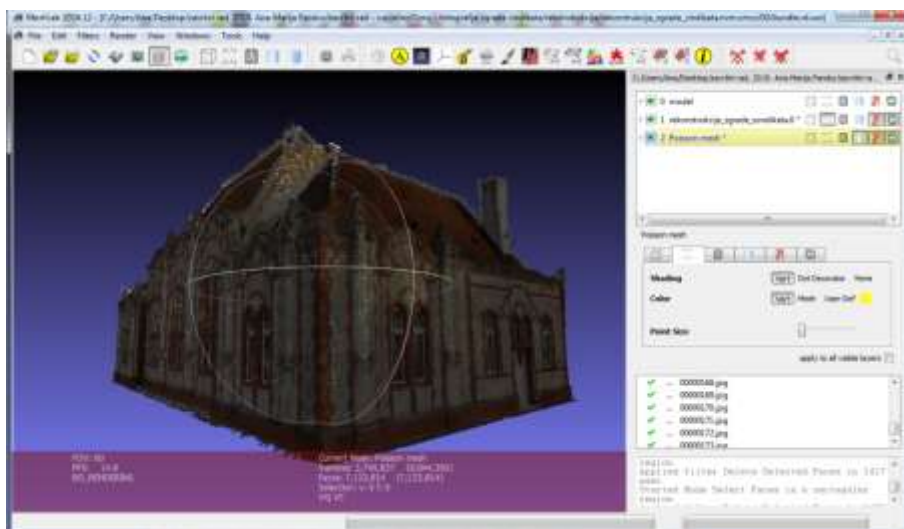
Kako bi se dobili konačni rezultati i kako bi program radio ovisi o mnogo čimbenika, poput fotografija koje se koriste, opreme koja se koristi, specifikacije računala zbog načina rada prilikom izrade modela u programima te hoće li će on biti brz, spor ili neće uopće raditi.

Sam način spremanja u MeshLab programu nije kompliciran, ali postoje neke stvari koje bi trebali znati prije nego spremamo datoteku koja će se koristiti u svrhu ponovnog otvaranja. Ukoliko se ne spremi gotov projekt s datotekama koje su se stvarale prilikom izrade modela, model možemo otvoriti, ali ne i ponovno njime upravljati i neće biti spremljen onako kako je dobiven na samome kraju. Imat će nedostatke kao i na početku, model koji se radio (slika 30) u ovome programu imao je podosta problema, ali na kraju

je dobiven model koji je poprilično zadovoljavao očekivanja. Program podržava kao ulaz i izlaz spremanje datoteka u sljedećim formatima: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, VRML 2.0, U3D I COLLADA. Također se može uvesti oblak točaka iz programa Photosynth, a dalje nakon Meshlaba postoji mogućnost daljnje obrade kao što je 3D studio za generiranje neke scene i dr.

Dobiveni model može se skalirati u odnosu na realni objekt i na taj način učiniti ga mjerljivim, što opet ovisi o fotografijama prikupljenim na terenu.

Sam proces nastajanja, od nastajanja fotografije pa do nastanka 3D modela i nije toliko kompliciran, osim vremena koje je potrebno odvojiti, ali s dobrom opremom i dobrim računalom i to se može poboljšati. I u konačnici u Meshlab programu model se može pripremiti za 3D ispis.



Slika 30. Konačan rezultat nakon stvaranja teksture na modelu zgrade sindikata, Izvor:

Ana-Marija Pandur

5. ZAKLJUČAK

U ovom je radu na samom početku dan kratak uvid u povijest fotogrametrije, podjelu fotogrametrije, fotogrametriju i njeno značenje te instrumentarij koji se koristi te je objašnjen postupak nastanka analogne i digitalne fotografije.

Za potrebe rada koristila se terestrička fotogrametrija odnosno snimanje s tla, digitalna fotografija te besplatni programi VisualSFM i Meshlab. Na osnovu prikupljenih podataka dobiven je u konačnici trodimenzionalni model zgrade Doma sindikata. Fotografije su prvo obrađene u VisualSFM programu gdje se dobije oblak točaka, a zatim se šalje na daljnju obradu u MeshLab gdje se raznim alatima poboljšava i dobiva model. Iako dobiveni konačni produkt ima neke nedostatke, mogućnost poboljšanja postoji. S obzirom na korištenje digitalnog amaterskog fotoaparata i nešto slabijeg stolnog računala, dobili su se vrlo zadovoljavajući rezultati.

Dakle, može se reći da ovi programi zadovoljavaju i ispunjavaju potrebe amatera u svrhu vizualizacije, koji na osnovu nekoliko fotografija kao krajnji rezultat mogu dobiti trodimenzionalni model željenog objekta, koji se na kraju može i isprintati kao 3D model.

LITERATURA

- [1]. Latentna slika, <http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/crno-bijela-fotografija/latentna-slika>, (12.7.2019.)
- [2]. Fotogrametrija, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20257>, (14.5.2019.)
- [3]. Žerjav, D. (2011.) Promišljati fotografski, Printex d.o.o., Čakovec
- [4]. Fotogrami – radionica za djecu sa Snježanom Josipović, <https://ovfestival.org/hr/event/fotogrami/>. (22.05.2019.)
- [5]. Digitalna fotografija, https://bib.irb.hr/datoteka/596261.Digitalna_fotografija.pdf, (22.05.2019.)
- [6]. Ang, T. (2005.) Cjeloviti priručnik za digitalnu fotografiju, Leo Commerce, Rijeka
- [7]. RGB color model, https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model#/media/File:RGB_color_wheel_10.svg, (22.05.2019.)
- [8]. Od degerotipije do digitalne fotografije, <https://hrcak.srce.hr/file/210813>, (12.7.2019.)
- [9]. Povijesna pripovijest o fotogrametriji, <https://hrcak.srce.hr/12481>, (3.7.2019.)
- [10]. Kratka povijest fotogrametrije u Hrvatskoj, <http://fodig.hgd1952.hr/povijest2.html>, (3.7.2019.)
- [11]. Fototeodolit, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20285>, (12.7.2019.)
- [12]. Science Geomatics Notes and Supplements, <https://geomassive.blogspot.com/2016/12/advanced-photogrammetry-gls615-syllabus.html>, (14.5.2019.)
- [13]. Primjena fotogrametrije i laserskog skeniranja kod zaštite spomenika kulturno historijske baštine, http://www.suggsbih.ba/GEODETSKI%20GLASNIK/GEODETSKI%20GLASNIK%2044/Mulahusic_Tuno_Topoljak_Balic_Stanic_Hadziosmanovic_Hajdar.pdf, (3.7.2019.)
- [14]. Fotogrametrija, <https://www.scribd.com/presentation/217645884/FOTOGRAMETRIJA>, (3.7.2019.)
- [15]. KUPDF; fotogrametrija, https://kupdf.net/download/fotogrametrija-skripta-pdf_58c97303dc0d600e40339029_pdf, (12.7.2019.)

- [16]. Scribd; Fotogrametrija - skripta.pdf,
<https://www.scribd.com/document/323888883/Fotogrametrija-skripta-pdf>, (15.5.2019.)
- [17]. Kalibracija kamere bespilotne letjelice,
https://bib.irb.hr/datoteka/891522.2017_ljurjevic_Diplomski_rad_KalibracijaKamereBespilotneLetjelice.pdf, (12.7.2019.)
- [18]. Stereofotogrametrija, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58027>,
(15.5.2019.)
- [19]. Stereopar, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58033>, (15.5.2019.)
- [20]. Stereokamera, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58030>,
(15.5.2019.)
- [21]. Pinterest; stereokamera, <https://www.pinterest.com/pin/379287599858137303/>,
(15.5.2019.)
- [22]. Stereoskop, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58034>, (15.5.2019.)
- [23]. Wikipedia; stereoscope,
https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope#/media/File:Holmes_stereoscope.jpg,
(15.5.2019.)
- [24]. Anaglifni postupak, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=2417>,
(15.5.2019.)
- [25]. 3D-naocale, <https://preporucamo.com/wp-content/uploads/2010/10/3D-naocale.jpg>, (15.5.2019.)
- [26]. Bespilotne letjelice,
https://www.google.hr/search?q=mikro+i+mini+bespilotna+letjelica&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjg79zL2ffeAhXI26QKHeQUDLAQ_AUIDigB&biw=1920&bih=889#imgrc=WKvQNKYmQ8NseM:, (16.5.2019.)
- [27]. Scribd; Bespilotne Letjelice Za Potrebe Fotogrametrije,
<https://www.scribd.com/document/356830476/15-Bespilotne-Letjelice-Za-Potrebe-Fotogrametrije-1>, (16.5.2019.)
- [28]. Temblor; Eye in the sky: Saving lives after an earthquake with drones,
<http://temblor.net/earthquake-insights/eye-in-the-sky-saving-lives-and-earthquake-recon-using-drones-2273/>, (16.5.2019.)
- [29]. Terestrički laserski skeneri, <https://hrcak.srce.hr/file/32559>, (21.05.2019.)
- [30]. Geocentar; Faro Focus S serija; laserski skener

<https://geocentar.com/proizvod/faro-focus-s/>, (22.05.2019.)

[31]. Usporedba terestričkih laserskih skenera,

https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=121451, (21.05.2019.)

[32]. Haček, A. (1990.) Čakovec (fotomonografija / in colours), Nipro Međimurje

[33]. Secesijske zgrade diljem svijeta!,

<https://www.jutarnji.hr/domidizajn/eksterijeri/secesijske-zgrade-diljem-svijeta/4615613/>, (23.05.2019.)

[34]. Advenced Geographic Research,

<http://adv-geo-research.blogspot.com/2014/02/camera-geometries-for-structure-from.html>, (24.05.2019.)

[35]. Usporedi.hr; Sony DSLR-A550,

<https://www.usporedi.hr/katalog/fotoaparati/sony-dslra550>, (24.05.2019.)

[36]. Usporedi.hr; Sony DSLR-A550 test,

<https://www.usporedi.hr/testovi/sony-dslr-a550-test>, (24.05.2019.)

[37]. Softpedia, VisualSFM, <https://www.softpedia.com/get/Science-CAD/VisualSFM.shtml>, (23.05.2019.)

[38]. Grafičko korisničko sučelje,

https://hr.wikipedia.org/wiki/Grafi%C4%8Dko_korisni%C4%8Dko_su%C4%8Delje, (23.05.2019.)

[39]. Structure from motion, https://en.wikipedia.org/wiki/Structure_from_motion, (23.05.2019.)

[40]. How to VisualSFM,

https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/getsi/teaching_materials/high-rez-topo/visual_sfm_tutorial.pdf, (23.05.2019.)

[41]. Patch-Based Multi-View Stereo Software (PMVS),

<https://www.di.ens.fr/pmvs/pmvs-1/index.html>, (23.05.2019.)

[42]. Patch-Based Multi-View stereo Software (PMVS-Version 2),

<https://www.di.ens.fr/pmvs/>, (23.05.2019.)

[43]. 3D point cloud, <https://www.gzr.hr/usluge/3d-point-cloud/>, (23.05.2019.)

PRILOZI**POPIS SLIKA**

Slika 1. Tamna komora u Muzeju suvremene umjetnosti Zagreb.....	10
Slika 2. RGB vrijednost piksela.	11
Slika 3. Prikaz aerofotogrametrijskog snimanja.....	14
Slika 4. Postupak skeniranja objekta; terestričko snimanje.....	14
Slika 5. Podjela fotogrametrije u odnosu na položaj snimke u prostoru.	15
Slika 6. Stereopar zgrade Doma sindikata.....	17
Slika 7. Stereokamera.	17
Slika 8. Stereoskop.	18
Slika 9. 3D naočale.....	19
Slika 10. Bepilotna letjelica tvrtke Hegi iz Przybilla 1979. godine.	21
Slika 11. Bepilotna letjelica (engl. Drone).....	22
Slika 12. Fazni 3D terestrički laserski skener, Faro Focus S.	23
Slika 13. Zgrada Doma sindikata sa središtem u Čakovcu.....	26
Slika 14. Konvergentan način fotografiranja.....	27
Slika 15. Sony DSLR-A550.	29
Slika 16. Alati potrebni za 3D rekonstrukciju u VisualSFM programu	30
Slika 17. Gusti oblak točaka u VisualSFM programu.....	32
Slika 18. Ikone za učitavanje fotografija u VisualSFM programu.....	33
Slika 19. Međusobna povezanost fotografija.....	33
Slika 20. Učitane fotografije i podaci o fotografijama.....	34
Slika 21. Prikaz ikone za detektiranje identičnih značajki.....	34
Slika 22. Vrijeme koje je bilo potrebno za pronalaženje podudarnosti fotografija.....	35
Slika 23. Stvaranje osnovnog oblaka točaka, od kojeg je generirano 127148 točaka....	35
Slika 24. Detaljan oblak točaka zgrade Doma sindikata.....	36
Slika 25. Prikaz detektiranih značajki za svaku načinjenu fotografiju.....	37
Slika 26. Prikaz detektiranih značajki na dvije različite fotografije.....	37
Slika 27. Fotografija prikaza matrice usporedbe, Izvor: Ana-Marija Pandur.....	38
Slika 28. Umetanje oblak točaka u MeshLab program.....	40
Slika 29. Ikone za čišćenje oblaka točaka.....	41

Slika 30. Konačan rezultat nakon stvaranja teksture na modelu zgrade sindikata 42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kategorizacija bespilotnih letjelica po standardu UAVS - International 21

Tablica 2. Karakteristike digitalnog fotoaparata Sony A - 550 28